

# 雷達徑向風資料同化對艾莉颱風的模擬影響之研究

林欣弘<sup>1</sup> 林沛練<sup>1</sup>

國立中央大學大氣物理研究所<sup>1</sup>

Bill Kuo<sup>2</sup> and Qingnong Xiao<sup>2</sup>

National Center for Atmospheric Research<sup>2</sup>

## 摘要

本研究使用美國國家大氣研究中心(NCAR)所發展之三維資料同化系統，將五份山雷達所觀測之雷達徑向風場資料加入修正模式背景場，並探討模式在臺灣區域模擬加入雷達資料模擬修正的影響。

研究針對 2004 年艾莉颱風個案進行研究，艾莉颱風路徑以非常接近台灣北部陸地的距離通過台灣，因此五份山雷達可以很完整的觀測的颱風的中心環流結構，透過這樣完整個颱風觀測資料，針對雷達徑向風三維變分資料同化方法來探討雷達觀測對模式預報背景場的調整、颱風路徑修正以及對台灣降雨量的改善等，並且討論不同觀測資料同化的影響差異。

關鍵詞：資料同化、雷達徑向風、艾莉颱風

## 一、前言

在天氣系統的數值模擬過程中，常受限於初始場的準確性，對中小尺度天氣系統的模擬仍無法完整的掌控其預報能力，因此可利用區域觀測資料修正模式初始場，來改善模式模擬能力。其中利用變分法同化觀測資料來修正初始場為重要的方法之一，而雷達觀測資料亦可加入變分同化過程之中。

Sun and Crook(1997)利用變分法將雷達徑向風與回波以四維資料同化加入雲模式中，討論資料同化對模擬的影響。Xiao et al. (2004) 利用 NCAR 發展的三維資料同化系統針對颱風個案進行研究，結果颱風路徑的修正上雷達徑向風同化比雷達回波同化結果來的好，而且單獨只同化雷達徑向風的初始場修正效果以及短時間的降雨預報結果都來的比只同化回波資料來的好。Xiao et al. (2005) 單純使用雷達徑向風加入修正模式初始場，結果對劇烈降水的鋒面個案，在前六個小時有不錯的改善表現。

由於雷達擁有很好的空間與時間解析度，在台灣完整的雷達網聯之下，對台灣地區的模擬有很好的改善空間，尤其對於海上移入台灣的天氣系統或侵台颱風，能在系統尚未到達台灣之前，將觀測資料加入資料同化中，來改善模式預報天氣系統的準確度。

## 二、研究方法

為改善因初始場解析度所造成的誤差，因此採

用三維變分資料同化(3-D Variational Data Assimilation)方式，將模式初始場修正至最接近實際天氣情形。資料同化系統使用美國國家大氣研究中心(NCAR)配合中尺度氣象模式 MM5 所發展的同化系統。

三維變分資料同化是採用疊代法解已給定的代價函數 $J(\mathbf{x})$ 以求得與實際大氣狀況最接近的最佳估計。將代價函數簡化如下式， $J^b$ 與 $J^o$ 分別代表背景場(初始場或前次預報場)與觀測資料的代價函數，求得 $J^b$ 與 $J^o$ 總合的最小化時，代表已調整至最佳的實際大氣狀況。

$$J(\mathbf{x}) = J^b + J^o = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o)^T (\mathbf{E} + \mathbf{F})^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o).$$

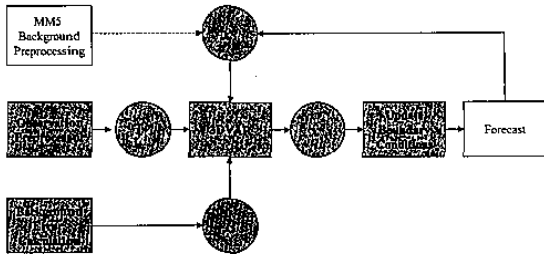
以三維變分同化可以很容易的將觀測資料直接做同化的動作，並不需要提前做氣象場的反演，且觀測的氣象變數並不需要跟預報場相同，可以透過變數轉換的過程將觀測資料加入同化，例如可將雷達徑向風場做資料同化，雖然預報模式並不預報徑向風場，但是可以透過預報的三維風場轉換成徑向風場，再與雷達觀測的徑向風場做價值函數的最佳調整。

因為雷達徑向風不是模式的預報變數，因此資料同化的過程中是透過一個模式預報變數的轉換運算子求得模式的徑向風，之後才能對模式與觀測做差異的極小化步驟，雷達徑向風與三維風的轉換運

算子，如下式：

$$V_{r,i} = u \frac{x - x_i}{r_i} + v \frac{y - y_i}{r_i} + (w - V_{Tm}) \frac{z - z_i}{r_i}$$

然而三維變分資料同化不包含時間上的同化調整過程，但是仍可透過即時更新觀測資料的做法，將最新的觀測資料加入預報模式中，調整預報場符合實際的天氣。圖一為中尺度數值模式 MM5 加入三維資料同化的流程。

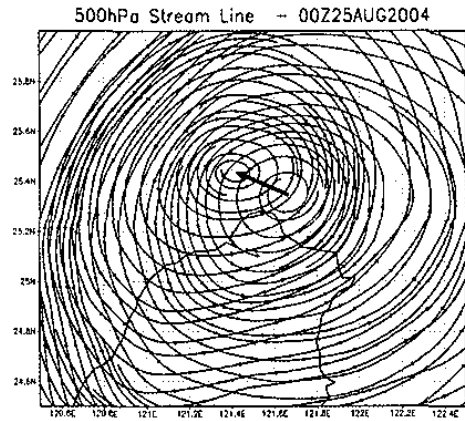


圖一、MM5 資料同化流程。

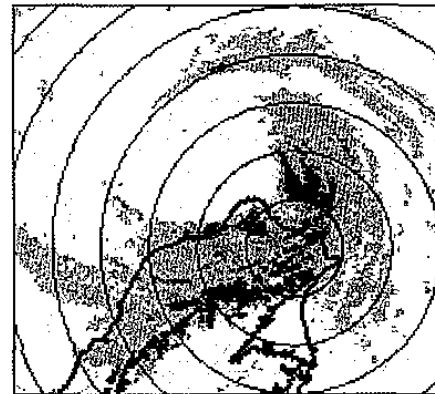
本研究使用五份山雷達的徑向風場做三維資料同化，選取個案為 2004 年的艾莉(AERE)颱風，由於艾莉颱風路徑以非常接近台灣北端陸地的距離通過，並且在新竹與苗栗山區帶來非常大的降雨，由於這樣的路徑下，五份山雷達可以很完整的觀測到艾莉颱風中心環流結構，因此此個案非常適合用於研究雷達資料同化的效果。研究方法透過循環更新觀測資料的方法將 MM5 預報場經過雷達徑向風同化，調整預報背景場之後，再由 MM5 繼續模擬其結果。實驗設計控制組從 2004/08/23 12Z 開始模擬 42 小時，對照組從控制組模擬 24 小時之後開始同化雷達徑向風，每隔 3 小時做一次循環式資料同化，一共做五次徑向風資料同化。

### 三、結果討論

為了比較資料同化的影響大小，實驗主要分為控制組與資料同化組，控制組不做任何的資料同化，其模擬結果在颱風最靠近台灣陸地時有比較大的誤差。而加入雷達徑向風資料同化之後，颱風路徑與強度都有比較好的修正。圖二為 08/25 00Z 資料同化前後的環流，比較雷達觀測的回波，資料同化之後颱風環流中心被調整至較接近實際的颱風中心位置，由於颱風中心被修正的結果，使得之後的台灣降水模擬有比較好的分佈結果。

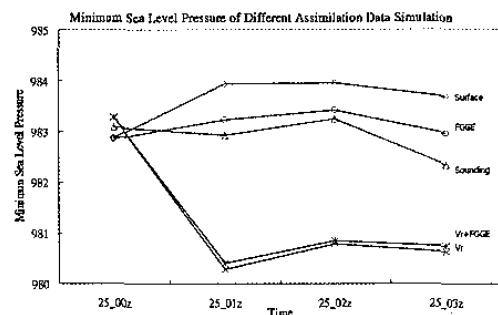


圖二、資料同化前後颱風環流變化。



圖三、08/25 00Z 五份山觀測艾莉颱風回波。

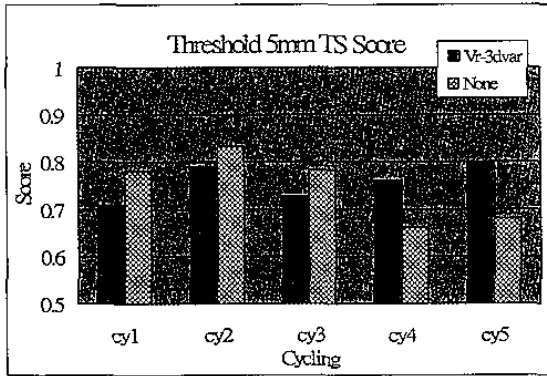
在不同觀測資料的資料同化敏感度測試上，分別針對地面測站、全球觀測資料、探空以及雷達徑向風做資料同化與模擬的比較。圖四為颱風中心最低氣壓，從結果來看，三維資料同化在背景場的氣壓修正上並不會很明顯，但是有加入地面站的觀測資料，在初始時間上有稍微增強一些，但之後三小時模擬結果氣壓反而些微上升。反倒是有加雷達徑向風的兩組測試，反而在颱風強度模擬上，有明顯的增強趨勢，尤其在模擬一小時內中心氣壓下降了 4hPa，這是由於資料同化無法直接將風場的調整直接反應到氣壓上，但是透過模式的模擬調整後，氣壓也慢慢降低。



圖四、08/25 00Z 資料同化後之颱風中心最低氣壓與模擬三小時颱風最低氣壓趨勢。

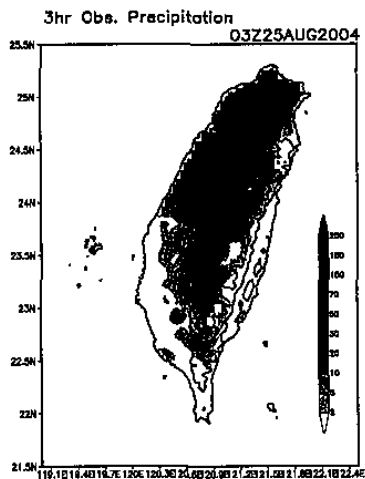
在降水模擬的比較上，圖五為不同時間的 TS

SCORE 得分，cy1-5 為不同資料同化時間，比較每次做完資料同化後模擬三小時降雨得分跟控制組的差異。結果上在颱風比較靠近台灣的最後兩個時間上，資料同化在降雨上有比較好的結果，尤其是控制組得分下降，而資料同化 TS 得分反而上升。



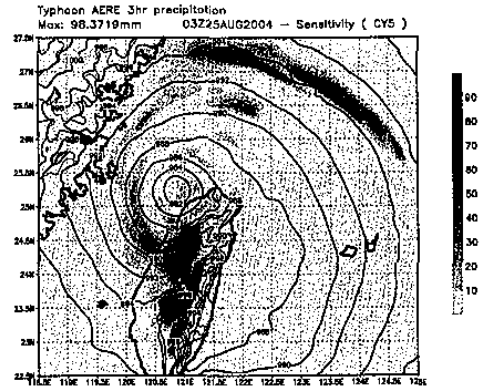
圖五、資料同化與控制組的降水模擬結果 TS 得分比較。

比較實際降水分布情形，圖六為 08/25 03Z 的三小時累積降水，主要降水集中在北部山區，最大降雨則在北部山區的南側。

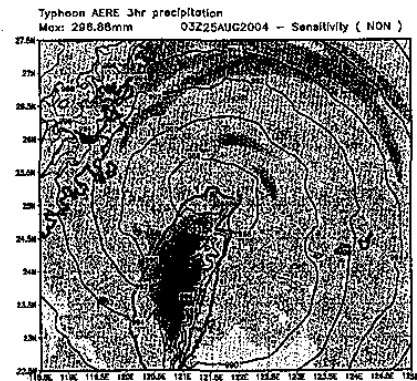


圖六、08/25 03Z 觀測三小時累積降水。

圖七、圖八則分別為資料同化與控制組降水模擬結果，時間與圖六相同，為三小時累積降水。從模擬結果比較來看，資料同化組不僅颱風強度比較強，且颱風中心位置也較接近真實的颱風中心。比較降水分布情形，控制組降水在北部山區明顯弱了很多，而且最大降水集中在山區的北側，這與實際的觀測降水分布上有較大的差異，而資料同化組降水分布則較接近實際觀測分布，最大降雨多集中在北部山區，不過由於模擬颱風強度還是比實際來的低，因此在降水量上，仍是有低估的情形。

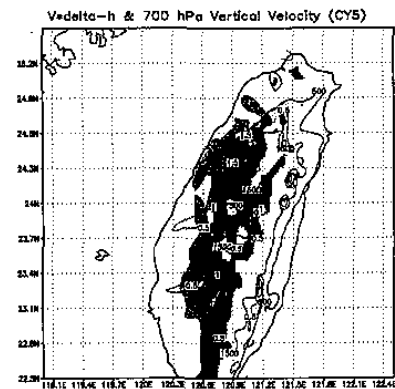


圖七、08/25 03Z 資料同化模擬海平面氣壓與三小時累積降水。

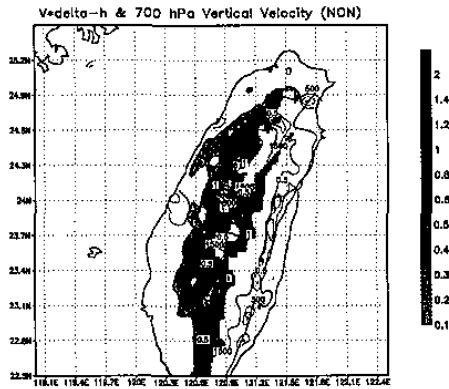


圖八、08/25 03Z 控制組模擬海平面氣壓與三小時累積降水。

為了比較資料同化與控制組的降水模擬差異，因此計算了風場在山區地形上的輻合效應  $V \cdot \Delta h$ ， $h$  為地形高度。圖九、圖十分別為資料同化與控制組計算出的地形輻合效應以及 700hPa 的垂直速度，可以發現主要的上升運動區皆在地形所造成的輻合地區，大部分皆位於山區迎風面上。



圖九、資料同化模擬之垂直速度與風場在地形上之輻合效應。



圖十、控制組模擬之垂直速度與風場在地形上之輻合效應。

比較模擬的降水與地形造成的輻合分佈情形，發現主要降水皆為在地形輻合地區，由於控制組颱風移動較慢，因此在北部山區風場多為西北風，所造成的降雨則位於北部山區的北側迎風面上，而徑向風資料同化調整過整個颱風環流風場分佈，因此在北部山區附近風場為西風，因此降水位置移至較偏南的山區。

而在降水量比較上，控制組在北部山區的模擬降水仍比資料同化組弱上許多，其中一個原因是颱風強度太弱，颱風環流風速也因此比較小，造成地形輻合上的強度減弱，在北部山區主要降水的地形前的風速，資料同化後的風速比控制組大 0.5 倍，所以相對來講也造成了較大的降水。

#### 四、 結論

本研究利用 NCAR 所發展之三維變分資料同化系統，針對 2004 年艾莉颱風個案，討論雷達資料同化對台灣地區降水系統模擬的影響。研究顯示雷

達徑向風的同化過程，可以重新調整颱風環流中心至較正確的颱風中心位置，此外徑向風同化結果透過模式模擬的調整使得颱風強度模擬一小時之內明顯增強，相較其他幾種全球觀測資料同化的模擬結果來的好。

而在降水模擬上，雷達徑向風資料同化可以改善因颱風路徑誤差所造成的降水模擬，特別在颱風較靠近台灣陸地時，因為雷達可以觀測到較完整的颱風環流，因此改善效果更為明顯。而在降雨分布比較上，由於徑向風資料同化明顯改善颱風環流風向以及增強風速，因此在地形輻合效應所造成的強降水地區的模擬，有不錯的模擬結果。雷達徑向風資料同化效益在此艾莉颱風個案中對短時間的降水模擬預報有不錯的表現。

#### 五、 參考文獻

- Sun, J. and N. A. Crook, 1997: Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 1642-1661.
- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, E. Lim, D. M. Barker, and E. Lim, 2004: Assimilation of Doppler radar observations and its impacts on forecasting of landfalling typhoon Rusa (2002). *Proceeding of ERAD (2004)*: 178-182.
- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, E. Lim, Y.-R. Guo, D. M. Barker, 2005: Assimilation of Doppler radar observations with a Regional 3D-Var system: Impact of Doppler velocities on forecasts of a heavy rainfall case. *J. Appl. Met.*, **44**, 768-788